

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

НАЗАРУК РУСЛАН ІГОРОВИЧ

УДК 631.633.02

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА
КОРЕНЕБУЛЬБОПЛОДІВ З УДОСКОНАЛЕННЯМ
КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

Кваліфікаційна робота містить результати власних розробок. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Р. І. Назарук

Керівник роботи

Заєць М. Л.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2025

АНОТАЦІЯ

Назарук Руслан Ігорович. Обґрунтування технологічного процесу виробництва коренебульбоплодів з удосконаленням картоплезбирального комбайна. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття першого освітнього ступеня бакалавр зі спеціальності 208 «Агроінженерія». – Поліський національний університет, Житомир, 2025.

В роботі представлено результати удосконалення дворядного напівпрічипного картоплезбирального комбайна, зокрема, його викопуючої секції. Що дозволило підвищити ефективність процесу збирання та покращити техніко-економічні показники роботи машини.

Виконано огляд відомих зарубіжних аналогів даної машини, аналіз технологічних процесів роботи комбайнів для збирання коренебульбоплодів. На основі цього запропоновано внести конструкційну модернізацію викопуючої секції, за рахунок встановлення додаткових дисків для прорізання бульбоносного шару ґрунту, що дасть можливість з більшою ефективністю виконувати процес збирання.

Проведено інженерні розрахунки запропонованого пристрою, встановлено конструкційні параметри та вибір раціональних режимів його роботи.

Під час проектування технологічних параметрів операційної технології, визначено експлуатаційні показники збирального агрегату, розраховано економічні та питомі приведені затрати на виконання технологічного процесу викопування картоплі.

В результаті розробки дані рекомендації виробникам картоплі та загальні висновки по роботі.

Ключові слова: картоплезбиральний комбайн, леміш, викопування, технологічні параметри, диск перфорований, питомі показники роботи, секція комбайна.

ABSTRACT

Nazaruk Ruslan. Justification of the technological process of root and bulbous crop production with the improvement of the potato harvester. – *Qualification work in the form of a manuscript.*

Qualification work for the first bachelor's degree in specialty 208 "Agroengineering". – Polissia National University, Zhytomyr, 2025.

The paper presents the results of improving the two-row semi-trailer potato harvester, in particular, its digging section. This allowed to increase the efficiency of the harvesting process and improve the technical and economic performance of the machine.

A review of known cutting analogues of this machine was carried out, an analysis of the technological processes of harvesters for harvesting root and bulbous crops was carried out.

Based on this, it was proposed to make a structural modernization of the digging section by installing additional disks for cutting the tuber-bearing layer of soil, which would make it possible to perform the harvesting process more efficiently.

Engineering calculations of the proposed device were carried out, the design parameters and the selection of rational modes of its operation were established.

During the design of the technological parameters of the operating technology, the operational indicators of the harvesting unit were determined, the economic and specific reduced costs for the implementation of the technological process of digging potatoes were calculated.

As a result of the development, recommendations were given to potato producers and general conclusions on the work.

Keywords: *potato harvester, share, digging, technological parameters, perforated disk, specific performance indicators, harvester section.*

ЗМІСТ

ВСТУП

1. ЗАГАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТА ОГЛЯД ВІДОМИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИЧІПНИХ КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ

1.1. Агротехнічні вимоги до картоплезбиральних машин.....	7
1.2. Аналіз конструкції машин та патентних досліджень.....	9
Висновки до розділу 1.....	11

2.УДОСКОНАЛЕННЯ СЕКЦІЇ КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА

2.1. Будова та принцип дії машини.....	13
2.2. Розрахунок параметрів викопуючої секції комбана.....	16
2.3. Розрахунок на міцність стійки дискового копача.....	20
Висновки до розділу 2.....	22

3. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РОБОТИ ЗБИРАЛЬНОГО МТА

3.1. Розрахунок операційної технології роботи МТА.....	24
3.2. Розрахунок техніко-економічних показників.....	26
Висновки до розділу 3.....	30

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....

ДОДАТКИ.....	34
--------------	----

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку аграрного сектору України особливе значення набуває підвищення ефективності виробництва коренебульбоплодів, зокрема картоплі. Ці культури мають велике продовольче, кормове та промислове значення, тому забезпечення стабільного та високоякісного врожаю є пріоритетним завданням для сільськогосподарських підприємств.

Одним із ключових факторів у досягненні цілей, є впровадження раціональних технологічних процесів, що забезпечують оптимальні умови для збирання та зберігання врожаю. При цьому вирішальну роль відіграє технічне забезпечення, зокрема удосконалення машин і механізмів, які виконують основні операції технологічного процесу.

Особливої уваги потребує збирання картоплі, яке характеризується високою трудомісткістю та значними втратами при застосуванні застарілих або недосконалих машин. Тому актуальним є питання вдосконалення картоплезбирального комбайна з метою підвищення продуктивності, зниження пошкоджень бульб і зменшення втрат урожаю. Раціональне поєднання агротехнічних вимог до вирощування коренебульбоплодів із технічними рішеннями дозволить не лише оптимізувати виробничий процес, а й забезпечити економічну ефективність господарювання.

Мета роботи є: обґрунтування ефективності збирання коренебульбоплодів, шляхом удосконалення картоплезбиральної машини.

Задачі по роботі є:

- виконати аналіз конструкцій та технологічних процесів роботи картоплезбиральних машин;
- обґрунтувати параметри секції картоплезбирального комбайна;
- визначити розрахунковим методом параметри техпроцесу збиральної машини та виконати розрахунки операційної технології.

Об'єкт удосконалення - технологічний процес підкопування бульбоносного шару ґрунту.

Предметом обґрунтування – взаємозв'язок конструкційних параметрів машини та її експлуатаційних показників роботи.

Методи та способи, що використані в роботі. Обґрунтування проводилось із використанням методів розрахунку механіко-технологічних властивостей матеріалів, моделювання процесів із застосуванням теорії машин і механізмів та методів їх розрахунку.

Перелік публікацій автора за темою роботи:

1. Назарук Р. І. Удосконалення викопуючої секції картоплезбирального комбайна. Зб. мат. доп. наук.-практ. конф. науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та здобувачів вищої освіти факультету інженерії та енергетики. 31 жовтня 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2024. С. 78-81.
2. Назарук Р. І. Обґрунтування режиму роботи пруткового елеватора картоплезбирального комбайна. Зб. Тез *XI Всеукраїнської науково-практичної конференції* «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» 07 квітня 2025 р. Житомир: ЖАТФК, 2025. С. 64-68.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаної літератури з 19 назв. Загальний обсяг роботи становить 34 сторінки комп'ютерного тексту, 6 рисунків та 1 таблиця.

1. ЗАГАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТА ОГЛЯД ВІДОМИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИЧІПНИХ КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ

1.1. Агротехнічні вимоги до картоплезбиральних машин

Відомі картоплезбиральні машини призначені для збиру бульбоплодів, висадженої з інтервалом 600 і 700 мм. Вони повинні заезпечувати збирання при міжряддях і 900 мм.[1,2]

За технологічною схемою збирання, яка передбачає попереднє видалення гички з метою полегшення роботи картоплезбиральних машин, спеціальна гичкозбиральна машина повинна зрізати не менше 70% урожаю гички. Урожайність стеблової частини може сягати 40 т/га. [1,2]

Під час збирання гички не допускається зминання рядків бульб рушіями машини, руйнування лунок, витягування бульбоплодів на поверхню та їх ушкодження. Машина має виконувати додаткову функцію розкидання подрібненої стеблової маси по площі поля.

Картоплезбиральні машини повинні забезпечити викопування бульбоплодів з глибини до 210 мм при ширині до 400 мм. [1,2]

Втрати бульбоплодів вагою до 20 г не зараховуються. Бульбоплоди, викопані рядними копачами сепараційного типу, розстиляються смугою шириною до 1 м. [1,2]

За роздільного способу збирання картоплі, копачі повинні укладати плоди у валки з парно кількості рядків, враховуючи проходи під ширину опорних рушіїв машини для підбирання бульб.[2]

Смуга укладених бульб з двох рядків, має бути ширин до 70 см, а з чотирьох та шести до 90 см. Товщина бульбоносного шару та картопляного вороху ма бути утворена до 8...10 см. [1]

При викопуванні бульб, картоплекопачі можуть працювати з пошкодженням бульб за масою до 3%. Види пошкодження картоплі: роздавлені, різана й надрізані,

з утворенням тріщин по хордовій довжині, з вирваними частинами і потемнінням після удару на глибину більше 5 мм, а також зі здертою шкіркою на площі понад 25% поверхні коренеплоду .[1]

Картоплезбиральні машини повинні забезпечувати викопування бульб картоплі, сепарувати ґруновий ворох від ґрунту, та інших решток і подавати очищені бульбоплоди в бункер, а також в транспортні засоби, що рухаються поряд. Картоплезбиральний комбайн повинен підбибрати бульби при гладенькій і на гребневих рядках, при різній урожайності картоплі та станом бадилля (зелена, відмерла, видалена).

Картоплезбиральний комбайн має викопувати та подавати в бункер більше 97% бульб картоплі. Загальні втрати врожаю не повинні бути більші за 3%. Чистота збирання машинами бульбоплодів в тару, має перевищувати 80%. Ступінь пошкодєнь не повинна перевищувати: механічних та інших видів до 12%. [2]

Картоплекопачі мають агрегатуватися з тракторами тягового класу 9 або 14 кН.

Підйом і заглиблення лемешів картоплекопачів повинні здійснюватися від гідросистеми трактора.

Однорядні причепні машини агрегуються з тракторами тягового класу 14 або 30 кН.

Підйом і заглиблення лемешів комбайна слід здійснювати від гідросистеми як під час руху, так і при зупинці агрегату. Викопувальні органи картоплекомбайна мають копіювати мікрорельєф поля та забезпечувати рівномірність глибини підкопування за різного регулювання. Відхилення від заданої глибини занурення лемешів допуск має бути ± 2 см. [1,2]

Викопувальні робочі елементи картоплезбиральних комбайнів мають забезпечуватись захисними механізмами, та забезпечувати надійність виконання процесу викопування .[3]

Однорядні збиральні машини повині обслуговуватись чотирма працівниками, а дворядні — шістьма максимум, (з врахуванням осіб, які працюють на перебиранні бульб, на транспортері столу). [2]

Ефективність роботи дворядних картоплекопачів повинна бути більша 0,4 га/год часу зміни, а картоплезбиральних машин — за норматив 0,15 га/год в залежності від рядності машин. [1,3]

Строк експлуатації картоплезбиральних комбайнів повинен бути до 7 сезонів, без капітального ремонту та заміни крупновузлових агрегатів та швидкозношуваних елементів.

Застосовуючи роздільний спосіб викопування, картоплезбиральні машини з підбирачами мають підбирати з валка, що утворив копач-валкоутворювач, з двох більше 97% коренебульбоплодів. [1,3]

При застосуванні машини для підбирання валків її продуктивність на процесі має становити не менше 0,3 га/год – при 2 рякових, та 0,6 га/год – при 4 ряках, і 0,9 га/год – на 6 рядках. [1]

1.2. Аналіз конструкції машин та патентних досліджень

Аналіз патентних досліджень проводився за фондами ЦНТІ. Пошук здійснювався по країнах Великобританії, Німеччині, США, Японії та Швейцарії. Аналіз проводився за темою, що нас цікавить, тобто сепарації ґрунту.

Картоплезбиральні машини, що виготовляються в Україні: остання модернізація картоплезбирального комбайна КПК-2, що виготовлявся з 1989 року і застосовувався по всій країні. З метою підвищення ефективності сепарації вороху в даній машині встановлено поздовжні та поперечні шнеки.[4]

Картоплезбиральні машини, які випускаються Британією, Німеччиною, та найбільш відомими є виробники «Jonhson» та «Rut Harvester». Картоплезбиральний комбайн «Jonhson» облаштований плоскими леміхами із дисковими копачами, та елеватором для сепарації ґрутового вороху, встановленим подавальним

транспортером для вивантаження плодів картоплі, в транспортні засоби з паралельним рухом вздовж траєкторії руху агрегату. За останні роки виробники техніки створили три останні моделі машин, такі як «Jonhson Maijor», що є модернізованою машиною вище згаданої моделі. Встановлено підйомний елеватор барабанного типу та перебиральник, що позиціонується поверх сепараційних пристроїв.

Переважає кількість новітніх моделей збиральних машин, що виготовляють в ФРН, використано прямопоточну компоновку переміщення бульб, з розміщенням сортувального елеватора над пристроями для сепарації картопляно-грунтового вороху. Досить цікава компоновка картоплезбирального комбайна «Hassia» компанії «Trosten» (рис.1). Дана модель відрізняється тим, що розташуванням збоку, підйомного барабану, і використанням оригінальної конструкції системи сепарування вороху, у вигляді скребкового сепаратора, який виконує відокремлення ґрунту і решток від бульб.



Рис. 1.1. Картоплезбиральний комбайн «Hassia» компанії «Trosten»

У США провідне місце з виробництва картоплезбиральних машин займають фірми «Jhon Deer», «Lokwood» (рис.1.2.), «Monarch Salse Company», «Limestoun Machine and Farmhand». Машини для збирання картоплі фірми «Грімме» -

двоярусні, з транспортуванням бульб маси на сортувальни стіл-елеватор, що зкомпонований під сепараторами (рис. 1.3.). Спосіб видалення бадилля та решток: виконано за рахунок ведучого полотна, що верхній частині продувається вентилятором, який створює повітряний потік. За допомогою даного пристрою, рештки притискаються до стрічки та видаляються на зовнішні межі машини.



Рис. 1.2. Картоплезбиральний комбайн «Локвуд»



Рис. 1.3. Картоплезбиральний комбайн «Грімме»

Висновки до розділу 1.

Аналіз техпроцесу картоплезбиральних машин, які застосовують дані конструкційні компоновки, показує, що до найдоцільнішої послідовності

технологічного процесу: формування грядки, підкопування ґрунту, основне сепарування дрібного ґрунту, руйнування грудок, вторинне сепарування дрібного ґрунту, транспортування бадилля, відокремлення дрібних стеблових решток, відокремлення твердої фракції, завантаження бульб та їх вивантаження і переміщення у вантажівки.

Розглянувши конструкційні компоновки збиральних машин, встановлено, що перевага надається компоновці у два яруси з протилежним напрямком потоку.

Основні переваги такої компоновки полягають у наступному:

1. Робочі елементи картоплезбиральних комбайнів розміщені у два яруси з протилежним напрямком потоку, що дає можливість забезпечити прямоточність процесу викопування та суттєво зменшити кінематичні параметри машини (близько 6,0 м).

2. Встановлення грохота барабанного типу, що використаний для сепарації вороху, застосовано також, як елеватор, що дало можливість відмовитись від ковшових елеваторів та забезпечити підйом бульб без зростання габаритних розмірів машин.

3. Встановлено, що застосування розвороту потоку маси на кут 90° застосовується з метою часткової сепарації ґрунтового вороху, використавши спосіб розкачування маси, що подається.

4. Сортиувальний стіл, що встановлений під кутом та розміщений поверх сепараційного пристрою з робочими органами, дає можливість розташувати працівників з обох боків столу та уникнути потрапляння їх в зону запиленості.

2.УДОСКОНАЛЕННЯ СЕКЦІЇ КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА

2.1. Будова та принцип дії машини

Картоплезбиральний комбайн застосовується для збирання картоплі, висадженої гребневим методом з відстанню міжряддя 700 мм, на легких, середніх і важких перезволожених ґрунтах. Машина є напівначіпною та працює в агрегаті з тракторами тягового класу 14, 20 кН.[8]

Основні конструктивні вузли комбайна: два опорних котки, дискові копачі, підкопувальні лемеші, два пруткових елеватори, шнекові сепаратори, грудкоподрібнювач, рідкопругий транспортер, два похилі пальчасті транспортери, ковшовий елеватор, супровідний та завантажувальний транспортери, бункер місткістю 1500 кг, основна й рухома рами, два пневматичні опорні колеса, причіпний механізм, привідний механізм і гідравлічна система.

Опорні котки (рис. 2.1) відповідають за підтримання сталої глибини ходу лемешів та копіювання поверхні гребнів. Вони мають вигляд порожнистих циліндрів, що закріплені на осі у стояках.[8]

Дисковий копач складається з двох плоских дисків, встановлених по обидва боки колінчастої осі з незначним розвалом.

Лемеші мають форму трапеції і оснащені відкидними клапанами в задній частині.[8]

У верхній частині копачів розміщені три поздовжні шнеки, які подають розпушений ґрунт на головний елеватор та частково подрібнюють його.

Основний прутковий елеватор виконує функцію сепарації землі та транспортує ворох вгору до рідкопругого транспортера. Елеватор має дві гілки: права вдвічі ширша за ліву. Над ним змонтовані три шнеки: один центральний нижній та два верхні бокові. Центральний шнек подрібнює грудки та поліпшує сепарацію, а бокові звужують потік і направляють його до грудкоподрібнювача. Шнеки виготовлені у формі циліндрів із гумовими зубчастими лопатями.

Відстань між прутками елеватора і шнеками регулюється гвинтовим механізмом.

Грудкоподрібнювач подрібнює грудки у стислому потоці вороху. Його конструкція включає вал, два диски і натягнуту між ними гумову стрічку. [8]

Другий елеватор виконує додаткову сепарацію та транспортує картоплю разом з домішками на широкий пальчастий транспортер. Цей транспортер очищає бульби від дрібних домішок і подає їх у ковшовий елеватор. Його стрічка має прогумовану поверхню з пальцями. Кут нахилу можна змінювати.

Над верхньою частиною нахилоного транспортера розташований шнек із лопатями, який переміщує великі домішки на вузький транспортер, тоді як дрібні просіюються через зазор. Вузький похилий транспортер додатково очищує ворох і подає бульби в ковшовий елеватор – стрічкову транспортувальну систему барабанного типу з ковшами з прогумованої тканини. [8]

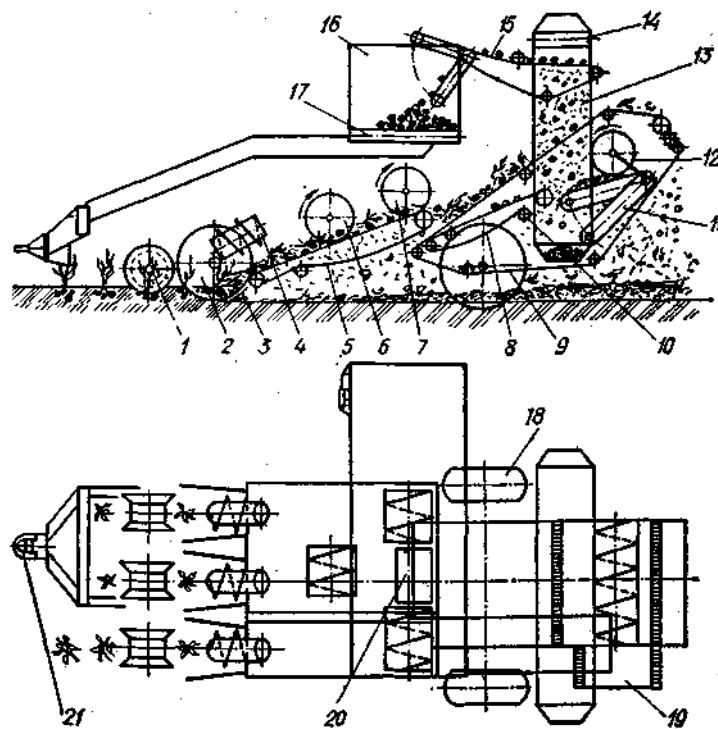


Рис. 2.1 Схема картоплезбирального комбайна:

1 - барабани опорні; 2 - копачі; 3 - леміхи; 4 - шнек поздовжній; 5 - транспортер-елеватор основний; 6 – шнек центральний; 7 - шнек бічний; 8 - елеватор вторинного каскаду; 9 - транспортер; 10 - коток-підтримувач. 11 - гірка; 12 - шнек; 13 ківшовий транспортер бульб; 14 – транспортер поперечний; 16 – транспортер подачі на бункер; 16 - бункер; 17 - вивантажувальний транспортер бункера; 18 - опорне колесо; 19 - сепарувальна гірка; 20 - грудкоподрібнювач; 21 - причіпний пристій

Привід і робочий процес

Робочі органи, елеватори та транспортери комбайна отримують привід від вала відбору потужності (ВВП) трактора.

Гідравлічна система включає гідророзподільник, маслопроводи, гідромотор, що приводить у рух транспортер бункера, а також гідроциліндри, які забезпечують піднімання рухомої рами та зміну положення рухомої стінки завантажувального транспортера.

Хід роботи

Під час руху машини по полю опорні барабани 1 рухаються по поверхні гребнів, точно копіюючи їх форму і контролюючи глибину занурення лемішів 3. Диски викопувача 2 зрізають скибу ґрунту з боків, а леміші — знизу. Скиба затискається між дисками та подається на головний елеватор 5. Верхні поздовжні шнеки стискають скибу зверху, додатково її подрібнюючи та частково відокремлюючи бадилля від бульб.

На основному елеваторі велика частина ґрунту просіюється між прутками. Розташовані над ним центральний і бокові шнеки разом із грудкоподрібнювачем подрібнюють грудки та сприяють ефективному очищенню вороху.

Далі елеватор подає ворох до пруткового транспортера, де бульби, грудки та дрібні домішки провалюються між прутками на другий елеватор, тоді як довге

бадилля та великі рослинні залишки залишаються на поверхні та викидаються на поле.

Другий елеватор продовжує процес сепарації й транспортує матеріал до широкого похилого пальчастого транспортера 11. Завдяки нахилу транспортеру, бульби скочуються з його поверхні в ковшовий елеватор 13, дрібні домішки скидаються на землю, а решта вороху подається шнеком на вузький пальчастий транспортер. Там бульби також скочуються у ковшовий елеватор, а домішки відсіюються.

З ковшового елеватора картопля, як очищена, так і з залишками бадилля, надходить на супровідний транспортер 14. Бадилля затримується на прутках транспортера, проходить між гумовим барабаном, відривається та опадає вниз, тоді як бульби прямують на завантажувальний транспортер 15, який подає їх у накопичувальний бункер 16.

Вивантаження картоплі з бункера здійснюється або під час зупинки, або безпосередньо на ходу, прямо у транспортні засоби.

2.2. Розрахунок параметрів викопуючої секції комбана

Визначення конструкційно-кінематичних параметрів прорізного дискового пристрою. Геометричними параметрами сферичних дискового пристрою є: діаметр диска D (рис.2.2), радіус сферичності диска r , загальний кут ε_1 , що становить половині центрального кута перерізу диска, кут заточки i , кут фаски різальної крайки диска до його основи ω , кут різання α , задній кут ε_2 , а також товщина диска δ . Наведені технологічні параметри мають конкретне технологічне призначення.

Скористаємось співвідношенням між діаметром диска D і робочою глибиною h : [14]

$$D = kh, \quad (2.1)$$

де k – конструкційний параметр.

У секції сферичний диск виконує функцію, аналогічну до диска луцильника, тому, згідно з експериментальними даними, коефіцієнт k для таких умов приймається в межах 5,0...6,0. [14]

Глибина занурення викопувального сферичного диска повинна бути не меншою за середню глибину залягання бульбоносного шару у ґрунті. Згідно з агрофізичними характеристиками, картопля зазвичай розміщується на глибині від 30 до 160 мм, що дає середнє значення близько 90 мм. [14]

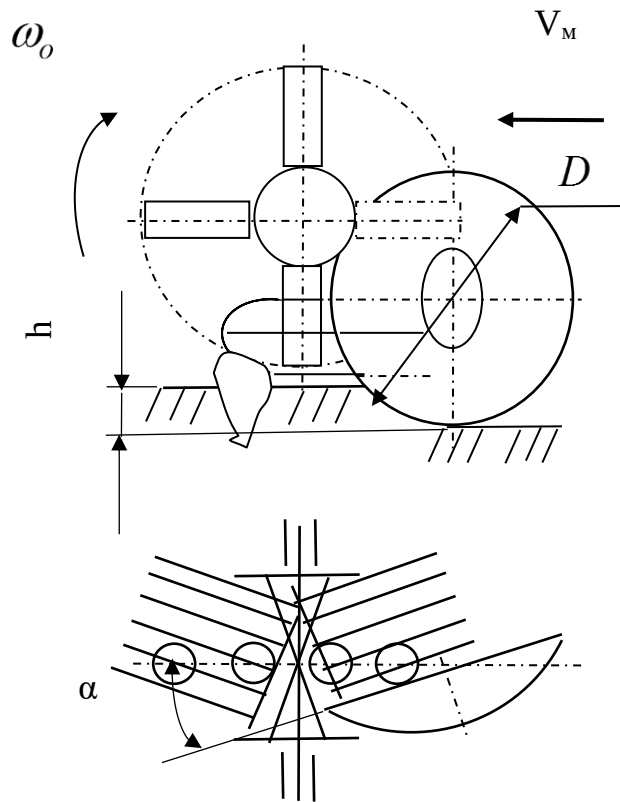


Рис. 2.2. Розрахункова схема визначення параметрів підрізного диска
Відповідно формулі (2.1) [14]

$$D = 5,5 \times 0,09 = 0,495 \text{ м.}$$

Стандартні діаметри дисків, що виготовляються для дискових луцильників складають 450...610 мм. прийmemo $D = 0,51$ м виходячи з розрахунків. [14]

Ступінь розкришування шару ґрунту залежить від радіуса сфери диска r , що суттєво впливає на руйнування та розпушення ґрунту бульбоносного шару. Інтенсивність деформаційного впливу диска піднімається із зменшенням радіуса кривизни.

Визначимо радіус кривизни сфери, в залежності від діаметра диска D і r , по залежності, що має вигляд: [15]

$$r = D / 2 \sin \varepsilon_1, \quad (2.2)$$

де ε_1 - центральний кут дуги диска.

Значення кута ε_1 приймемо в межах $25..35^\circ$. [14]

Згідно формули (2.2), радіус становить:

$$r = 0,45 / 2 \times \sin 30^\circ = 45^\circ$$

Кут заточки має істотний вплив на технологічні характеристики роботи сферичного диска. Зазвичай заточування проводять з зовнішнього, опуклого боку диска. Для дисків, які застосовуються в копача, кут заточки (i) зазвичай становить від 10° до 20° . При роботі на ґрунтах з високою щільністю та твердістю, диски заточують з внутрішньої сторони.

У нашому розрахунку приймаємо величину кута загострення - $i = 15^\circ$.

Кут зняття фаски крайки диска до його основи (ω) пов'язаний із кутом φ , який є половиною значення кута центральної дуги в діаметральному перерізі диска, а також із кутом заточки i . Цей зв'язок описується відповідною геометричною залежністю. [14]

$$\omega = i + \varepsilon_1. \quad (2.3)$$

Кут прорізання α залежить від значення кута заточки i та заднього кута ε_2 , звідки: [14]

$$\alpha = i + \varepsilon_2. \quad (2.4)$$

Задній кут ε_2 в залежності від глибини викопування та положення диска

змінюється, що призводить до зміни кута прорізання. Що суттєво впливає на зростання витрати палива при копанні картоплі, а також на працездатність дискового копача. Ефективна робота дискового копача відбувається тоді, коли значення величини заднього кута буде додатнім відносно поверхні ґрунту.

Визначимо товщину тіла диска δ згідно залежності: [16]

$$\delta = 0,008D, \quad (2.5)$$

де D - діаметр диска, мм.

Підставивши дані отримали з формули (2.5) $\delta = 0,008 \times 450 = 3,6$ мм.

Враховуючи, що диски можуть працювати в над важких ґрунтах, то товщина може становити:

$$\delta = 0,008D + 1 = 3,6 + 1 = 4,6 \text{ мм}.$$

До числа регульованих параметрів дискових робочих органів, які мають суттєве технологічне значення, належать:

- **кут атаки (α)** - кут між площиною встановлення диска і напрямком його руху;
- **кут обертання диска (θ)** - кут між віссю обертання диска та горизонтальною площиною.

У дискових плугах зазвичай встановлюють кут нахилу θ у межах $15...25^\circ$. У нашому випадку приймаємо $\theta = 20^\circ$.

Під час руху дискового прорізаючого пристрою під кутом α до напрямку руху, завдяки силі тертя з ґрунтом, диск обертається і вирізає частину масиву еліптичної форми.

Кут атаки суттєво впливає на ефективність роботи диска: збільшення кута сприяє інтенсивнішому розпушенню ґрунту і кращому підрізання бур'янів. Проте надто великий кут атаки ускладнює сходження ґрунту з поверхні диска і викликає його накопичення перед диском. При невеликих кутах ($10...20^\circ$) диск переважно лише розрізає верхній шар ґрунту з частковим його розпушенням.

У копаках зазвичай використовують кути атаки в межах $10...35^\circ$. Виходячи з технологічних міркувань, у нашому випадку приймаємо кут атаки $\alpha = 30^\circ$.

2.3. Розрахунок на міцність стійки дискового копака

Виконаємо розрахунок стійки диска, згідно міцнісних параметрів.

Основне навантаження, яке виникає в конструкції під час роботи агрегату, створює сила опору ґрунту, що прикладається до внутрішньої поверхні сферичного диска. Згідно з попередніми розрахунками, при глибині занурення диска на 90 мм ця сила становить **4,85 кН**. Далі необхідно визначити максимальні напруження, які виникають у стовбі диска під дією цієї сили.

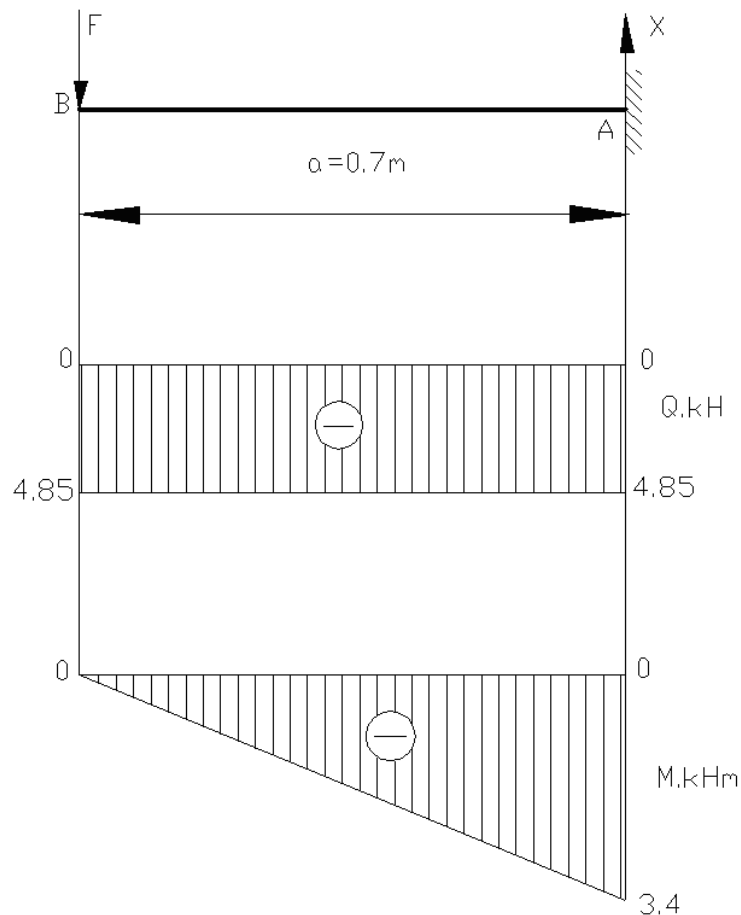


Рис. 2.3 Епюра поперечних сил та згинального моменту стійки викопувального диска

Зпроектувавши сили на вісь OX , визначаємо реакції опори (рис. 2.3)

$$\sum X = 0;$$

$$F - X_a = 0;$$

$$F = X_a;$$

$$X_a = 4,85 \text{ кН.}$$

Склавши рівняння рівноваги відносно точки А, оскільки вона являється найбільш навантажена, встановимо максимальне значення згинального моменту

$$M_{max} = F \cdot a$$

$$M_{max} = 4,85 \cdot 0,7 = 3,4 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

З умови міцності визначимо допустимі напруження :[18]

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_{oc}} \leq [\sigma],$$

де W_{oc} - осьовий момент опору;

$[\sigma]$ - допустимі напруження на згин (для Сталі 20 $[\sigma] = 18^2 \text{ МПа}$) [19]

$$W_{oc} = \frac{M_{max}}{[\sigma]},$$

$$W_{oc} = \frac{3400}{1.8} = 1888,9 \text{ см}^3$$

$$W_{oc} = \frac{bh^2}{6},$$

$$\frac{b}{h} = 0.45$$

$$(0.45 \cdot h \cdot h^2) = 0.12h^3$$

$$0.12 \cdot h^3 = W_{oc}$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{W_{oc}}{0.12}}$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{1888.9}{0.12}} = 25 \text{ cm}$$

$$b = 0.45 \cdot 25 = 11 \text{ cm}$$

Згідно з умовами міцності, мінімальний поперечний переріз стійки повинен становити 250×110 мм. Однак з огляду на складні експлуатаційні умови роботи сферичного диска, з метою підвищення надійності конструкції, доцільно прийняти посилений переріз профілю - 260×100 см.

Основні технічні характеристики: Діаметр сферичного диска: $D=510$ мм, кут атаки диска становити α - 30° ; глибина занурення диска в ґрунт $h= 90$ мм

Висновки до розділу 2.

До числа регульованих параметрів дискових робочих органів, які мають суттєве технологічне значення, належать: **кут атаки (α)**; **кут встановлення диска (θ)**.

Дані кутові параметри суттєво впливають на ефективність виконання роботи диска: збільшення кута сприяє інтенсивнішому розпушенню ґрунту і кращому підрізанню бур'янів. Проте надто великий кут атаки ускладнює сходження ґрунту з поверхні диска і викликає його накопичення перед диском. При невеликих кутах ($10...20^\circ$) диск переважно лише розрізає верхній шар ґрунту з частковим його розпушенням.

Мінімальний поперечний переріз стійки повинен становити 250×110 мм. Однак з огляду на складні експлуатаційні умови роботи сферичного диска, з метою підвищення надійності конструкції, приймамо переріз - 260×10 см.

Основні технічні характеристики: Діаметр сферичного диска: $D=510$ мм, кут атаки диска становити $\alpha-30^\circ$; глибина занурення диска в ґрунт $h=90$ мм

3. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РОБОТИ ЗБИРАЛЬНОГО МТА

3.1. Розрахунок операційної технології роботи МТА

Розрахунок робочої продуктивності

Розрахункову годинну продуктивність W_h визначають за формулою:[11]

$$W_{год} = 0.1 \cdot B_p \cdot V_p \cdot T \quad (3.1)$$

де:

B_p - робоча ширина захвату, м ($B = 1,4$ м), [11]

V_p - поступальна швидкість комбайна, км/год ($U = 8$ км/год), [11]

T - коефіцієнт використання змінного часу ($T = 0,9$). [11]

Звідки

$$W_{год} = 0.1 \cdot 1,4 \cdot 8 \cdot 0,9 = 1,0 \text{ га/год.}$$

Загальне навантаження на комбайн

Завантаження картоплезбирального комбайна залежить від ряду факторів: швидкості руху, глибини підкопування, форми гребенів, урожайності бульб і ботви тощо.

Загальна маса навантаження визначається як: [11]

$$Q = Q_n + Q_{кл} + Q_{б}, \text{кг/с} \quad (3.2)$$

де:

Q_n – маса підкопуваного ґрунту,

$Q_{кл}$ – маса картоплі (бульб),

$Q_{б}$ – маса ботви.

Середнє секундне завантаження комбайна

Секундна маса підкопуваної маси (без урахування різниці густини ґрунту і бульб) обчислюється за формулою: [11]

$$Q_{cp} = S \cdot V_m \cdot j_n \quad (3.3)$$

де:

S – площа поперечного перерізу підкопуваного шару (приймається $S = 0,15 \text{ м}^2$), [11]

V_m – поступальна швидкість агрегату ($V_m = 2,2 \text{ м/с}$), [11]

j_n – об’ємна вага ґрунту ($j_n \approx 1,2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$). [11]

$$Q_{cp} = 0,15 \cdot 2,2 \cdot 1200 = 396 \text{ кг/с.}$$

Маса надходження бульб:

$$Q_{\delta} = 0,1 \cdot i \cdot m \cdot G_{\delta} \cdot V_m, \quad (3.4)$$

де:

i – кількість рядків ($i = 2$),

m – коефіцієнт використання площі ($m = 0,7$),

G_{δ} – урожай бульб ($20,66 \text{ т/га} = 20\,660 \text{ кг/га}$),

V_m – швидкість ($2,2 \text{ м/с}$).

Підставивши дані отримали

$$Q_{\delta} = 0,1 \cdot 2 \cdot 0,7 \cdot 20,66 \cdot 2,2 = 4,33 \text{ кг/с}$$

Маса надходження гички:

$$Q_{\epsilon} = 0,1 \cdot i \cdot m \cdot G_{\epsilon} \cdot V_m, \quad (3.5)$$

де $G_{\epsilon} = 6,92 \text{ т/га}$.

Підставивши дані отримали:

$$Q_{\delta} = 0,1 \cdot 2 \cdot 0,7 \cdot 6,92 \cdot 2,2 = 1,45 \text{ кг/с}$$

Загальне секундне навантаження на комбайн:

$$Q = Q_n + Q_{\delta} + Q_{\epsilon}, \quad (3.6)$$

Підставивши дані отримали:

$$Q = 265,67 + 4,33 + 1,45 = 271,45 \text{ кг/с}$$

Кількість бульб у потоці:

$$P_n = \frac{Q_n}{Q} * 100\%, \quad (3.7)$$

Становить

$$P_n = \frac{265,67}{271,4} * 100\% = 97,88\%$$

Бульб :

$$P_{кл} = \frac{Q_{кл}}{Q} * 100\%, \quad (3.8)$$

становить

$$P_{кл} = \frac{4,33}{271,4} * 100\% = 1,59\%$$

При прямому комбінованому збиранні бульбоносна суміш, що надходить у комбайн, зазвичай має такий склад: 97–98 % ґрунту, 1–2 % бульб та 0,5–2,5 % гички та інших рослинних домішок.

3.2. Розрахунок економічних показників

Під час розрахунку економічної ефективності знаряддя використовувалися положення стандарту ДСТУ 23728-2005, а також методичні вказівки щодо оцінки економічної ефективності нових технологій та засобів механізації. Крім того, застосовувалися рекомендації та нормативні дані з літературних джерел [6,13].

Оскільки метою є визначення ефективності застосування запропонованого комбайну за фактичними витратами, що визначають собівартість виконаних робіт, розрахунки проводилися за прямими експлуатаційними витратами.

Розрахунок оптової вартості комбайна здійснювався на основі ціни за один кілограм конструкційної ваги. З огляду на відносно високу собівартість виготовлення, коефіцієнт конструкційної складності прийmemo рівним 1,3.

Балансова вартість

$$B_{онт} = 1,3B_{бал} \frac{m_M}{m_{КПК}} = 1,3 * 1190000 \frac{2890}{2800} = 1596700 \text{ грн}, \quad (3.9)$$

де:

$B_{бал}$ - балансова вартість КПК - 2, грн;

$m_{КПК}$ - маса базової машини КПК - 2, $m = 2800$ кг;

m_M - маса модернізованої версії КПК-2, $m = 2890$ кг.

Балансова вартість модернізованої машини буде становити.

$$B = B_{онт} \cdot 1,1 = 1596700 \cdot 1,1 = 1756400 \text{ грн}, \quad (3.10)$$

Годинну продуктивність МТА визначимо з урахуванням коефіцієнта використання робочого часу зміни $\tau = 0,85$. Вихідні дані для визначення техніко-експлуатаційних показників представлено в таблиці 3.1.

Прямі питомі експлуатаційні витрати на один га становлять: [11]

$$C = B_{зн} + A + R + U_n + C, \quad (3.11)$$

а) заробітна плата працівників: [11]

$$B_{зн} = \sum \frac{L_M f_r}{W}, \quad (3.12)$$

$$B_{зн1} = \frac{1 * 26}{1,2} = 216 \text{ грн / га};$$

$$B_{зн2} = \frac{1 * 26}{2,15} = 120 \text{ грн / га};$$

б) відрахування на реоновацію та амортизацію: [11]

$$A = \frac{B * a}{100 * W * U_r}, \quad (3.13)$$

$$A_1 = \frac{1190000 * 14,2}{100 * 1,2 * 200} = 704,3 \text{ грн/га}$$

$$A_2 = \frac{1756400 * 14,2}{100 * 2,15 * 200} = 639,2 \text{ грн/га}$$

в) відрахування на поточний ремонт: [11]

$$R = \frac{B * r}{100 * W * U_r}, \quad (3.14)$$

$$R_1 = \frac{1190000 * 17}{100 * 1,2 * 200} = 842,9 \text{ грн/га}$$

$$R = \frac{1756400 * 17}{100 * 2,15 * 200} = 765 \text{ грн/га}$$

г) комплексні затрати на пальне та оливи:

$$Ц_n = \frac{N_a * g_r * Ц_k * \alpha_N}{100 * W},$$

$$Ц_{r1} = \frac{45 * 10 * 57,50 * 0,5}{100 * 1,2} = 932,8 \text{ грн/га},$$

$$Ц_{r1} = \frac{45 * 10 * 57,50 * 0,5}{100 * 2,15} = 618,3 \text{ грн/га}$$

Загальні експлуатаційні витрати для базової та модернізованої моделей становлять відповідно:

- $C_1 = 21,6 + 704,3 + 842,9 + 932,8 + 0,1 = 2501,7 \text{ грн};$
- $C_2 = 12 + 639,2 + 694,3 + 618,3 + 0,1 = 1963,9 \text{ грн}.$

2. Питомі капіталовкладення на 1 га становлять:

$$K_y = \frac{1}{W} \frac{B_M}{U_r}, \quad (3.15)$$

$$K_{y1} = \frac{1}{1,2} * \frac{1190000}{200} = 4958 \text{ грн/га};$$

$$K_{y2} = \frac{1}{2,15} * \frac{1756400}{200} = 4085 \text{ грн/га}; \quad 1$$

3. Приведенні витрати на 1 га роботи МТА становитимуть:[11]

$$C_n = C + E_H K_y$$

$$C_{n1} = 4958 + 0,15 * 4958 = 5701,7 \text{ грн/га},$$

$$C_{n2} = 4085 + 0,15 * 4085 = 4697,75 \text{ грн/га},$$

4. Річний економічний ефект від застосування МТА буде становити:

$$E_p = (C_{n1} - C_{n2}) * W_{год} , \quad (3.16)$$

$$E_p = 5701,7 - 4697,75 * 1 = 1003,95 \text{ грн / га}$$

5. Затрати праці на 1 га площі визначимо за формулою:

$$z_{np.} = \sum \frac{L_M}{W} , \quad (3.17)$$

$$z_{np.} = \frac{1}{1,2} = 0,83 \text{ люд-год/га}$$

$$z_{np2.} = \frac{1}{2,15} = 0,48 \text{ люд -год/га}$$

Таблиця 3.1.

Результати розрахунку техніко-економічних показників

Найменування показників	Базовий варіант	Новий варіант	Різниця
1. Прямі експлуатаційні витрати на одиницю роботи, грн/га	1601,7	1363,9	237,8
А) заробітна плата працівників, грн/га	216	120	96
Б) амортизаційні відрахування на реновацію машини, грн/га	704,3	639,2	65,1
В) витрати на ремонт, грн/га	842,9	694,3	148,6
2. Питомі капітальні вкладення, грн/га	4958	4085	873
3. Приведені витрати на 1 га, грн/га	5701,7	4697,75	1003,95
4. Трудові витрати на 1 га, люд./год/га	0,8	0,5	0,3
5. Річний економічний ефект, грн/га	—	—	1003,95

Висновки до розділу 3.

У результаті модернізації машини прямі експлуатаційні витрати на 1 гектар зменшилися з 1601,7 грн до 1363,9 грн, що дозволило досягти економії в розмірі 237,8 грн/га. Завдяки підвищенню продуктивності праці, витрати на заробітну плату зменшилися на 9,6 грн/га.

Амортизаційні витрати скоротилися на 65,1 грн/га, а витрати на ремонт — на 148,6 грн/га, що свідчить про покращення надійності та довговічності конструкції.

Вартість капіталовкладень на одиницю площі зменшилася на 873 грн/га, що підвищує загальну інвестиційну ефективність машини. Приведені витрати на 1 гектар при використанні модернізованої машини зменшилися на 368,75 грн, що підтверджує економічну доцільність впровадження удосконалення.

Трудомісткість виконання робіт зменшилася з 0,8 до 0,5 люд.-год./га, що означає зменшення потреби в робочій силі та підвищення продуктивності. Загальний річний економічний ефект від застосування модернізованої машини становить 1003,95 грн з гектару, що підтверджує доцільність впровадження технічних рішень у виробництво.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Вивчивши роботу картоплезбиральних комбайнів, можна зробити висновок, щодо найбільш доцільної послідовності виконання операцій: формування грядки, підкопування ґрунту, основне сепарування дрібного ґрунту, руйнування грудок, вторинне сепарування дрібного ґрунту, видалення бадилля, відокремлення дрібних рослинних домішок, відокремлення грудок (каменів), завантаження бульб у бункер і вивантаження їх у транспортні засоби.

2. Встановлено технологічне значення, **кута атаки (α)** — кут між площиною обертання диска і напрямком поступального руху машини; **кута нахилу площини обертання диска (θ)**, що суттєво впливає на ефективність роботи диска: збільшення кута сприяє інтенсивнішому розпушенню ґрунту і кращому підрізанню бур'янів. При невеликих кутах ($10...20^\circ$) диск переважно лише розрізає верхній шар ґрунту з частковим його розпушенням.

Визначено мінімальний поперечний переріз стійки, який повинен становити 250×110 мм. З метою підвищення надійності конструкції, прийнято переріз, що становить - 260×10 см. Обґрунтовано основні технічні характеристики: діаметр сферичного диска: $D=510$ мм, кут атаки диска становити $\alpha-30^\circ$; глибина занурення диска в ґрунт $h=90$ мм.

3. Вартість капіталовкладень на одиницю площі зменшилася на 873 грн/га, що підвищує загальну інвестиційну ефективність машини. Приведені витрати на 1 гектар при використанні модернізованої машини зменшилися на 368,75 грн, що підтверджує економічну доцільність впровадження удосконалення.

Трудовісткість виконання робіт зменшилася з 0,8 до 0,5 люд.-год./га, що означає зменшення потреби в робочій силі та підвищення продуктивності. Загальний річний економічний ефект від застосування модернізованої машини становить 1003,95 грн з гектару, що підтверджує доцільність впровадження технічних рішень у виробництво.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Купка А.А. Довідник картопляра, К.: Урожай, 1991. 232 с.
2. Войтюк Д.Г., Гаврилюк Г.В. Сільськогосподарські машини. К.: Врожай, 1993. 492с.
3. Петров Г.Д. Картоплезбиральні машини. Розрахунок і проектування. К: Машинобудування, 1972. 392 с.
4. Глухих Б.А. Дослідження з механізації збирання та прибирання картоплі К.: ІКХ., 2000. 217 с.
5. Митрофанов В.С. Фізико-механічні властивості картоплі. К: Машинобудування, Т5, 1990. 518 с.
6. Табачук В.Й. Дослідження ушкоджуваності бульб при збиранні. Праці сільськогосподарського інституту Т2. Вип.7,1993. 347 с.
7. Тимофєєв А.М. До методики визначення пошкоджень картоплі залежно від механічних факторів. К: урожай, Т3, 1996. 283 с.
8. Войтюк Д.Г., Гаврилюк Г.Р. Сільськогосподарські машини. К.: Каравела, 2008. 552с.
9. Лехман С.Д., Рубльов В.І., Рябцев Б.І. Запобігання аварійності та травматизму у сільському господарстві. – К.: Урожай. 1993 – 272 с.
10. Ільченко В.Ю. та інші. Машиновикористання в землеробстві. – К.: Урожай, 1991. – 382с.
11. Ільченко В.Ю., Лімонт О.В., та інші., Експлуатація машинно-тракторного парку в аграрному виробництві. К.: Урожай, 1993, с. 284.
12. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: підручник Д.Г. Войтюк, Л.В. Аніскевич, В.М. Барановський та 4н.. За 4н.4. Д.Г. Войтюка. 2-е вид. перероб. Та доп. К. НУБІП України, 2018. 736 с.
13. Сільськогосподарські машини: електронний підручник Д.Г. Войтюк, В.М. Мартишко, М.С. Волянський та 4н.. ДУ «Науково-методичний центр

інформаційно-аналітичного забезпечення діяльності ВНЗ «Агроосвіта» 2018.

14. Сільськогосподарські машини : навч. посіб. Д.Г. Войтюк, Л.В. Аніскевич, М.С. Волянський , В.М. Мартишко, Ю.О. Гуменюк К.: «Агроосвіта», 2017. 180 с.
15. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник Д.Г. Войтюк, В.В.М. Барановський ,В.М. Булгаков та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. К.: Вища освіта, 2015. 464 с. : іл.
16. Сисолін П.В.,Сало В.М., Кропівний В.М .”Сільськогосподарські машини: Теоретичні основи, конструкція, проектування: Підручник для студ. вищ. навч. закл. із спец. „Машини та облад. с.-г. вир-ва”. Кн. 1: Машини для рільництва. Київ, Урожай, 2011, 384 с.
17. Сільськогосподарські і меліоративні машини: Навчальний посібник / Кошук О. Б., Лузан П. Г., Мося І. А., Герлянд Т. М., Романов Л. А. К. : ІПТО НАПН України, 2015. – 291 с.
18. Дарков А.В., Шпирко Г.С. Опір матеріалів. К.: Вища школа, 1975. 422 с.
19. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Деталі машин . К.: Вища школа, 1987 . 334 с.

ДОДАТКИ